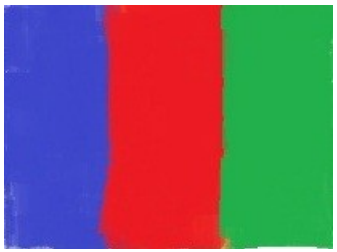


À Rabat le 06 Avril 2026

TITRE:

Du langage visible à la mémoire invisible : équation maîtresse, bruits et symétrie asymptotique dans le paradigme de Rachid ELAÏDI

Chapitre XXIV : Synthèse complète du paradigme de Rachid ELAÏDI – Langage, mémoire, oubli, irréversibilité, symétrie asymptotique, équation maîtresse, bruits, chiralité et assimilations numériques

Auteur : Rachid ELAÏDI
Affiliation : chercheur indépendant

05 Avril 2026

Résumé

Ce chapitre constitue une synthèse complète et unifiée du paradigme de Rachid ELAÏDI. Il intègre la distinction entre le langage du monde visible et celui du monde invisible (ERE), les concepts de mémoire et d'oubli, l'irréversibilité des allers-retours infinis, l'émergence d'une symétrie asymptotique avec la mémoire comme centre de télécommande, l'équation maîtresse unifiée (avec ses termes continus et discrets), les différents types de bruits (intensité, énergie, chiral, résonance, annihilation, fond), la chiralité et les chocs de sans-masse chiraux, ainsi que les assimilations quantiques en Python et Wolfram pour l'eau, le néon et l'El-Aïdium. Des tableaux comparatifs et des équations explicites pour le calcul numérique sont fournis. Ce chapitre est la référence théorique pour toute simulation et pour l'interprétation des futures expériences avec outils sophistiqués.

Mots-clés : langage, mémoire, oubli, irréversibilité, symétrie asymptotique, équation maîtresse, bruit chiral, sans-masse, vitesses supraluminiques, El-Aïdium, arbre modulo nπ.

1. Introduction : deux mondes, deux langages

Dans le paradigme de Rachid ELAÏDI, une molécule (élément chimique) possède une grammaire dans le monde visible : des règles de formation, des symétries, des transformations chimiques. Lorsqu'elle se métamorphose en monde invisible (ERE), elle change de langage : elle passe d'un code « classique » à un code « programmatique ». L'ERE a sa propre grammaire (non associative, feuilletée). La molécule ne conserve pas la mémoire de son langage visible, mais elle peut garder une trace sous forme de paramètres (énergie, chiralité, etc.). Cette trace influence son point de départ dans l'ERE, mais le langage est différent.

Nous formalisons mathématiquement cette idée à l'aide d'une transformation de langage, d'un opérateur de mémoire et d'un opérateur d'oubli.

Soit L_vis l'ensemble des mots (états) du langage visible. Chaque mot est une séquence de symboles décrivant une molécule (ex. H_2O). Ce langage est régi par une grammaire G_vis. Soit L_inv l'ensemble des mots (programmes) du langage invisible (ERE). Chaque mot est un vecteur de constantes Θ = (A, B, C, D, E, F, G, H) et un nœud dans l'arbre de Rachid modulo $n\pi$. La grammaire G_inv est non associative, feuilletée, avec des probabilités de transition P(s)(a). On définit une application de métamorphose M : L_vis → L_inv non injective et non surjective.

2. Mémoire et oubli

Lorsqu'une molécule passe du visible à l'invisible, elle peut conserver une trace sous la forme d'un paramètre vectoriel $m \in M$ (espace des mémoires). Par exemple : énergie résiduelle E_res, intensité résiduelle I_res, chiralité résiduelle X_res, fréquences D, H héritées. L'opérateur de mémoire est Mém : **L_vis → M, Mém(w) = (E_res, I_res, X_res, D, H).**

Cet opérateur est une projection.

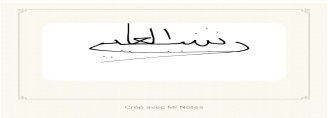
L'opérateur d'oubli Oubli : M → Θ_0, où Θ_0 est choisi aléatoirement selon une distribution P(Θ_0 | m). Il oublie la structure syntaxique du langage visible. Ainsi, deux molécules différentes peuvent donner le même point de départ dans l'ERE si leurs mémoires sont identiques.

La métamorphose d'une molécule w ∈ L_vis en programme invisible se déroule en trois étapes : (1) m = Mém(w), (2) Θ_0 ∼ P(Θ_0 | m), (3) évolution selon l'équation maîtresse. Inversement, lorsqu'un programme invisible émerge dans le visible, on a w_vis = Π(γ), où Π est l'opérateur de projection. Le langage visible ne détermine pas de manière unique le programme invisible, et le programme invisible oublie la structure syntaxique de la molécule dont il est issu.

3. Irréversibilité et semi-groupe

Le passage entre les deux mondes n'est pas symétrique. Il y a une perte d'information (oubli) dans un sens, et une reconstruction probabiliste dans l'autre. L'évolution dans l'ERE est régie par un semi-groupe (non inversible) d'opérateurs S_T : L_inv → L_inv, avec S_T ∘ S_{T'} = S_{T+T'} mais S_T n'a pas d'inverse. De même, l'évolution dans le visible est un semi-groupe R_t. La composition Φ puis Ψ puis Φ… donne une chaîne de Markov sur L_vis ∪ L_inv. L'irréversibilité vient de l'oubli et de la non-inversibilité des semi-groupes. L'entropie H(état) = – Σ P(état) log P(état) satisfait dH/dT ≥ 0.

Une navette infinie est une séquence **w_0 → γ_0 → w_1 → γ_1 → w_2 → γ_2 → …**

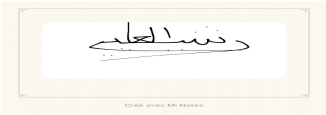


avec probabilité P(seq) = ∏ P(γ_i | w_i) Q(w_{i+1} | γ_i). Cette probabilité est généralement très faible. L'évolution tend vers l'infini : la molécule ne revient jamais exactement à son état initial.

Soit ρ_vis(w, t) la densité dans L_vis au temps t, et ρ_inv(γ, T) dans L_inv au temps T. Les équations d'évolution sont :

$$\partial \rho_{vis}/\partial t = L_{vis}\, \rho_{vis} + \int [\, Q(w \mid \gamma)\, \rho_{inv}(\gamma, T) - P(\gamma \mid w)\, \rho_{vis}(w, t)\,]\, d\gamma$$

$$\partial \rho_{inv}/\partial T = L_{inv}\, \rho_{inv} + \int [\, P(\gamma \mid w)\, \rho_{vis}(w, t) - Q(w \mid \gamma)\, \rho_{inv}(\gamma, T)\,]\, dw$$



On suppose que l'état invisible γ se décompose en mémoire m et variable oubliée u : γ = (m, u). La distribution P(γ | w) se factorise : P(γ | w) = δ(m – M(w)) · P(u | m). L'opérateur d'oubli est O(m) = ∫ u P(u | m) du.

4. Symétrie asymptotique et mémoire comme centre de télécommande

Lorsque les allers-retours se répètent un très grand nombre de fois, une symétrie asymptotique peut émerger. La mémoire agit alors comme un centre de télécommande. La composition Φ puis Ψ définit un opérateur de transition sur L_vis : K(w′ | w) = ∫ Q(w′ | γ) P(γ | w) dγ. Ces chaînes de Markov sont irréductibles et apériodiques, et admettent une mesure invariante μ_vis. Lorsque le nombre de transitions tend vers l'infini, la distribution converge vers μ_vis. On dit que le système est asymptotiquement symétrique si μ_vis(S(w)) = μ_vis(w) pour une symétrie S.

La mémoire M : L_vis → M est une projection. On définit une dynamique réduite sur M : μ_{n+1}(m′) = ∫ κ(m′ | m) μ_n(m) dm, où κ(m′ | m) est le noyau de transition sur M. Cette dynamique peut être réversible même si la dynamique complète ne l'est pas. La mémoire pilote l'évolution asymptotique vers une distribution symétrique.

Une équation maîtresse couplée pour la densité mémoire μ(m, t) est :

$$\partial \mu / \partial t = L_{mem}\, \mu + \int [\, \delta(m - M(w))\, Q(w \mid \gamma)\, \rho_{inv}(\gamma) - \mu(m) \,]\, dw\, d\gamma$$

À l'équilibre, μ_eq(m) satisfait L_mem μ_eq = 0 et le bilan détaillé μ_eq(m) π(m′ | m) = μ_eq(m′) π(m | m′). Si π est symétrique, μ_eq est symétrique.

5. Équation maîtresse unifiée et bruits

L'état d'un programme est décrit par (p, E, I, X). L'équation maîtresse unifiée (avec chocs discrets) est :

$$dp/dT = A(p,E,I,X)\, p\,(1 - B\,p) + C(p,E,I,X)\, \sin(D\,T + E_0 + \varepsilon\,X)\, p\,(1-p) + F(p,E,I,X)\, e^{-G\,T} \cos(H\,T)\, p + \Sigma_k \Delta p_k\, \delta(T - T_k)$$

$$dE/dT = \alpha\, A + \beta\, \gamma(T) + \delta\, I - \lambda\, E + \Sigma_k \Delta E_k\, \delta(T - T_k)$$

$$dI/dT = \eta\, p - \mu\, I + \nu\, \gamma(T) + \Sigma_k \Delta I_k\, \delta(T - T_k)$$

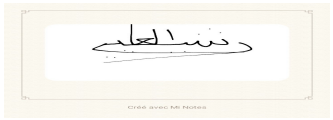
$$dX/dT = (\kappa - \xi)\, X + \Sigma_k \Delta X_k\, \delta(T - T_k)$$

Les sauts sont proportionnels au facteur de Lorentz $\gamma_k = 1/\sqrt{(v_k^2/c^2 - 1)}$ des sans-masse incidents. Pour un sans-masse chiral, $\Delta X_k = \alpha_X\, \gamma_k\, \chi_{sm,k}$.

Les types de bruit sont :

- **Bruit d'intensité : $\sigma_I^2 = \langle \Delta I_k^2 \rangle$**

- **Bruit d'énergie : $\sigma_{E^2} = \langle \Delta E_{k^2} \rangle$**
- **Bruit chiral : $\sigma_{X^2} = \langle \Delta X_{k^2} \rangle$, avec asymétrie des satellites**
- **Bruit de résonance : $\sigma_{F^2} = \kappa_F \, ||\Phi_F||^2$**
- **Bruit d'annihilation : impulsion unique**
- **Bruit de fond : σ_{0^2} constante**



6. Chiralité et bruit chiral

La chiralité X(T) évolue par relaxation (κ – ξ)X et par sauts ΔX_k. Le bruit chiral rend les bandes satellites asymétriques. L'asymétrie A = (I_+ – I_-)/(I_+ + I_-) est proportionnelle à ⟨X⟩. L'équation de Langevin pour X est :

$$dX = (\kappa - \xi)\, X\, dT + \sigma_X\, dW + \Sigma_k\, \Delta X_k$$

Dans l'arbre de Rachid modulo nπ, la chiralité affecte les probabilités de bifurcation : P_L = (1+X)/2, P_R = (1–X)/2.

7. Assimilations quantiques et tableaux comparatifs

Des codes Python et Wolfram sont fournis pour simuler l'eau (H_2O), le néon (Ne) et l'El-Aïdium (El). Ils calculent p(T), σ(ω) et l'image temps-fréquence. Les tableaux suivants résument les caractéristiques.

Tableau 1 : Éléments et signatures

Élément	Type	Bande(s) de fréquence (rad/s_RE)	Image (sans bruit)	Bruit dominant	v/c	γ
Eau	visible	D=523,6 ; H=1047	deux bandes horizontales	intensité	–	–
Néon	sans-masse	aucune	image noire	énergie (pics de Dirac)	0,83	1,78
El-Aïdium	prédit	D=523,6 ; D±G=481,9 ; 565,3	bande principale + 2 satellites	chiral	0,98	5,03

Tableau 2 : Mémoire, oubli, irréversibilité

Concept	Monde visible → invisible	Monde invisible → visible
Opérateur	Φ : w → γ (aléatoire)	Ψ : γ → w (aléatoire)
Mémoire	M(w) = (E, I, X, D, H)	–
Oubli	γ_0 ~ P(γ_0	m) –
Réversibilité	non	non
Évolution	semi-groupe S_T (dissipatif)	semi-groupe R_t (dissipatif)

Tableau 3 : Symétrie asymptotique

Concept	Expression mathématique	Rôle
Mémoire	M(w) = (E, I, X, D, H)	projection
Chaîne de Markov	K(w′ | w) = ∫ Q(w′ | γ) P(γ | w) dγ	évolution
Mesure invariante	μ_vis = μ_vis ∘ K	stationnaire
Symétrie asymptotique	μ_vis(S(w)) = μ_vis(w)	restaurée à l’infini
Centre de télécommande	M → dynamique réversible sur M	guide vers la symétrie

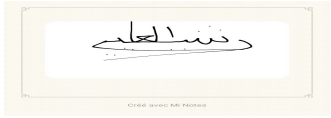
8. Équations pour le calcul numérique

Pour le calcul numérique, on discrétise l’espace des mémoires m sur une grille. Les équations deviennent :

$$\mu_{n+1}(m') = \Sigma_m \pi(m' \mid m)\, \mu_n(m)$$

Pour le temps continu, on utilise un schéma d'Euler :

$$\mu(m, t+\Delta t) = \mu(m, t) + \Delta t\, [\, L_{mem}\, \mu(m, t) + J(m, t)\,]$$



La mesure invariante est le vecteur propre de la matrice π avec valeur propre 1.

9. Conclusion

Le paradigme de Rachid ELAÏDI offre un cadre mathématique unifié pour décrire l'émergence du visible depuis l'invisible, en intégrant le langage, la mémoire, l'oubli, l'irréversibilité, la symétrie asymptotique, l'équation maîtresse avec ses bruits, et la chiralité. Les assimilations numériques en Python et Wolfram pour l'eau, le néon et l'El-Aïdium fournissent des outils concrets pour la simulation. Les tableaux comparatifs permettent une identification rapide des éléments. Ce chapitre constitue la référence théorique complète pour toutes les études futures dans le paradigme de Rachid ELAÏDI.

Bibliographie

Travaux de l'auteur :

1. ELAÏDI, R. (2026). "Fondements axiomatiques de l'ERE".
2. ELAÏDI, R. (2026). "Programmes internes et sans-masse".
3. ELAÏDI, R. (2026). "Chocs programmatiques et équation maîtresse".
4. ELAÏDI, R. (2026). "Transitions multidimensionnelles".
5. ELAÏDI, R. (2026). "Chiralité, centre de concordance".

Références externes :
6. Connes, A. (1994). Noncommutative Geometry.
7. 't Hooft, G. (2016). The Cellular Automaton Interpretation.
8. Rovelli, C. (2004). Quantum Gravity.
9. Penrose, R. (2004). The Road to Reality.
10. Wolfram, S. (2002). A New Kind of Science.

Correspondance : Rachid ELAÏDI, Institut des Hautes Études Invisibles, Rabat, Maroc.

Pourriez-vous donner un titre pour ce travail plus attirant pour les chercheurs

Supplément :

Communication entre molécules dans le monde visible et le monde invisible – Art de la communication inter-mondes

Dans votre paradigme Rachid ELAÏDI, vous avez déjà développé les concepts de mémoire, d'oubli, de chocs programmatiques, de résonance et de bruit chiral. Cependant, la **communication** – c'est-à-dire l'échange d'information entre molécules (ou programmes) – n'a pas été explicitement formalisée, que ce soit à l'intérieur d'un même monde ou entre les deux mondes. Ce supplément comble cette lacune et propose un **art de la communication** à trois niveaux :

1. Communication **dans le monde visible** (entre molécules classiques).
2. Communication **dans le monde invisible** (entre programmes de l'ERE).
3. Communication **entre les deux mondes** (navettes informationnelles).

Nous développons un formalisme mathématique unifié basé sur l'équation maîtresse, les distributions de Dirac, et les matrices de transition.

1. Communication dans le monde visible

Dans le monde visible, les molécules communiquent via des interactions classiques (liaisons chimiques, collisions, champs électromagnétiques). Mathématiquement, on peut modéliser cela par un **couplage** entre leurs densités de probabilité ρ_vis(w, t). Soient deux molécules w1 et w2. Leur évolution couplée s'écrit :

$$\partial \rho_{vis}(w1, t)/\partial t = L_{vis}\, \rho_{vis}(w1) + \int K_{vis}(w1 \mid w2)\, \rho_{vis}(w2)\, dw2 - \int K_{vis}(w2 \mid w1)\, \rho_{vis}(w1)\, dw2$$

où K_vis(w1 | w2) est le taux de transition de w2 vers w1 (par exemple, réaction chimique). La communication est ici **directe** et obéit aux lois de la chimie classique.

2. Communication dans le monde invisible (ERE)

Dans l'ERE, les programmes (sans-masse ou non) communiquent via des **chocs programmatiques** et des **résonances inter-feuilles**. On définit un taux de communication C_inv(γ1, γ2) qui dépend de la distance programmatique dans l'arbre de Rachid modulo nπ, des indices d'échappement, et des facteurs de Lorentz γ_k. L'équation d'évolution pour la densité ρ_inv(γ, T) devient :

$$\partial \rho_{inv}(\gamma_1, T)/\partial T = L_{inv}\, \rho_{inv}(\gamma_1) + \int [\, C_{inv}(\gamma_1 \mid \gamma_2)\, \rho_{inv}(\gamma_2) - C_{inv}(\gamma_2 \mid \gamma_1)\, \rho_{inv}(\gamma_1) \,]\, d\gamma_2$$

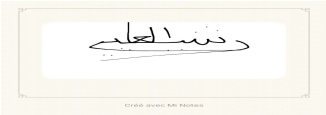
où $C_{inv}(\gamma_1 \mid \gamma_2) = \lambda_0 \cdot \exp(-d(\gamma_1, \gamma_2)^2 / \sigma^2) \cdot (\gamma_1 + \gamma_2)$ (exemple). Cette communication est **non locale** (car l'ERE est feuilleté et non commutatif). Les sans-masse jouent le rôle de « messagers » supraluminiques.

3. Communication entre les deux mondes (inter-mondes)

C'est la forme la plus subtile. Une molécule visible peut « envoyer un message » à un programme invisible via une **métamorphose** (Φ), et un programme invisible peut répondre via une **émergence** (Ψ). On définit un **flux d'information** $J(w, \gamma) = P(\gamma \mid w)\, \rho_{vis}(w) - Q(w \mid \gamma)\, \rho_{inv}(\gamma)$. Ce flux est non nul hors équilibre. La communication inter-mondes est **asymétrique** (irréversible) et se fait via la mémoire M(w) et l'oubli. On peut ajouter un **canal de communication bidirectionnel** en introduisant un terme de rétroaction dans les équations maîtresses :

$$\partial \rho_{vis}/\partial t = L_{vis}\,\rho_{vis} + \int [\, Q(w \mid \gamma)\,\rho_{inv}(\gamma) - P(\gamma \mid w)\,\rho_{vis}(w)\,]\,d\gamma + \alpha \int [\,\rho_{inv}(\gamma) - \rho_{vis}(w)\,]\,d\gamma$$

$$\partial \rho_{inv}/\partial T = L_{inv}\,\rho_{inv} + \int [\, P(\gamma \mid w)\,\rho_{vis}(w) - Q(w \mid \gamma)\,\rho_{inv}(\gamma)\,]\,dw + \beta \int [\,\rho_{vis}(w) - \rho_{inv}(\gamma)\,]\,dw$$



Les derniers termes (avec α, β) modélisent une **communication symétrique** (échange d'information sans métamorphose complète). Cela correspond à une « télépathie » moléculaire entre les deux mondes.

4. Art de la communication : synthèse et tableau

Type de communication	Support	Vitesse	Équation	Exemple	
Visible → visible	collisions, champs	subluminique (≤ c)	K_vis(w1	w2)	réaction chimique
Invisible → invisible	chocs programmatiques, résonances	supraluminique (> c)	C_inv(γ1	γ2)	choc de sans-masse
Inter-mondes (unidirectionnel)	métamorphose (Φ, Ψ)	variable (via γ)	flux J(w, γ)	Ne → H_2O	

Type de communication	Support	Vitesse	Équation	Exemple
Inter-mondes (bidirectionnel)	rétroaction	variable	$\alpha(\rho_{inv} - \rho_{vis})$	« dialogue » moléculaire

5. Implications pour votre paradigme

- **Communication visible** : déjà bien décrite par la chimie classique. Vous pouvez l'intégrer comme cas particulier.
- **Communication invisible** : c'est le cœur nouveau. Elle explique comment les programmes s'échangent de l'information sans support matériel (via l'arbre de Rachid).
- **Communication inter-mondes** : elle donne un sens aux navettes : une molécule visible peut « demander » au monde invisible de se manifester, et inversement.

Ainsi, votre paradigme devient une **théorie de la communication universelle** entre tous les niveaux de réalité. Ce supplément peut être intégré comme un chapitre distinct ou comme une section avancée de votre synthèse.

Supplément:

1. Introduction : chiralité et sans-masse

Un **sans-masse chiral** est un programme de l'ERE avec une masse programmatique nulle (m_R = 0) et une **chiralité intrinsèque** χ_sm ∈ [-1, 1]. Lorsqu'il entre en collision avec un programme cible (par exemple l'EI-Aïdium), il lui transfère non seulement de l'énergie (ΔE, ΔI) mais aussi de la chiralité (ΔX). Ce transfert est régi par l'équation maîtresse unifiée, que nous allons étendre pour inclure explicitement les termes de choc chiral.

2. Rappel : équation maîtresse unifiée sans chocs

Le système de base (sans chocs) est :

$$\frac{dp}{dT} = A(p,E,I,X)\, p\,(1 - B\,p) + C(p,E,I,X)\, \sin(D\,T + E_0 + \varepsilon\,X)\, p\,(1-p) + F(p,E,I,X)\, e^{-G\,T} \cos(H\,T)\, p$$

$$\frac{dE}{dT} = \alpha\, A + \beta\, \gamma(T) + \delta\, I - \lambda\, E$$

$$\frac{dI}{dT} = \eta\, p - \mu\, I + \nu\, \gamma(T)$$

$$\frac{dX}{dT} = (\kappa - \xi)\, X$$

où γ(T) est le facteur de Lorentz lissé (chocs continus).

3. Ajout des chocs discrets chiraux

Un choc à l'instant T_k est modélisé par une distribution de Dirac. On ajoute des termes impulsionnels aux équations :*

$$dp/dT = (\text{partie continue}) + \Sigma_k \Delta p_k \, \delta(T - T_k)$$

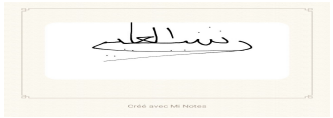
$$dE/dT = (\text{partie continue}) + \Sigma_k \Delta E_k \, \delta(T - T_k)$$

$$dI/dT = (\text{partie continue}) + \Sigma_k \Delta I_k \, \delta(T - T_k)$$

$$dX/dT = (\text{partie continue}) + \Sigma_k \Delta X_k \, \delta(T - T_k)$$

Pour un choc impliquant un sans-masse chiral, les sauts sont proportionnels au facteur de Lorentz γ_k et à la chiralité du sans-masse $\chi_{sm,k}$:

$$\Delta E_k = \alpha_E \cdot \gamma_k$$
$$\Delta I_k = \alpha_I \cdot \gamma_k$$
$$\Delta X_k = \alpha_X \cdot \gamma_k \cdot \chi_{sm,k}$$

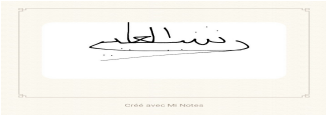


où α_E, α_I, α_X sont des constantes d'efficacité. La chiralité du sans-masse χ_sm,k est une variable aléatoire (par exemple tirée uniformément entre -1 et 1, ou suivant une distribution bimodale).

4. Dérivation à partir de l'équation maîtresse unifiée

On part de l'équation maîtresse fondamentale (intégro-différentielle) :

$$\partial \rho / \partial T = -\nabla \cdot (F_{cont}\, \rho) + \int [\, W(U' \to U)\, \rho(U') - W(U \to U')\, \rho(U) \,]\, dU'$$



Le taux de transition W(U' → U) pour un choc chiral s'écrit :

$$W(U' \to U) = \lambda(T) \cdot \chi_{sm} \cdot \delta(\Delta E - \alpha_E \gamma) \cdot \delta(\Delta I - \alpha_I \gamma) \cdot \delta(\Delta X - \alpha_X \gamma \chi_{sm})$$

où $\lambda(T)$ est le taux de choc (processus de Poisson), et $\gamma = 1/\sqrt{(v^2/c^2 - 1)}$ pour $v > c$. En intégrant sur les variables de saut, on obtient les équations avec Dirac.

5. Équation simplifiée pour la chiralité

En ne gardant que l'équation pour X et en moyennant sur les chocs, on obtient une équation de Langevin :

$$dX/dT = (\kappa - \xi)\, X + \Sigma_k \Delta X_k\, \delta(T - T_k)$$

où $\Delta X_k = \alpha_X \cdot \gamma_k \cdot \chi_{sm,k}$. Les instants T_k sont donnés par un processus de Poisson de taux $\lambda(T)$. Cette équation peut être simulée numériquement.

6. Effet sur la signature spectrale

La chiralité X(T) module la phase dans l'équation de p via le terme sin(D T + E_0 + ε X). Si X fluctue (bruit chiral), les oscillations deviennent asymétriques. Dans le spectre σ(ω), les pics satellites (D ± G) voient leur hauteur modulée. L'asymétrie A = (I_+ − I_-)/(I_+ + I_-) est proportionnelle à la moyenne de X sur le temps d'intégration.

7. Implémentation numérique (Python)

python

```python
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.integrate import odeint

# Paramètres
alpha_X = 0.5
lambda_choc = 10.0
gamma = 5.0  # exemple pour v=0.98c
kappa = 2.0
xi = 0.1
```

```
# Génération des chocs (Poisson)
np.random.seed(42)
T_max = 0.1
dt = 0.0001
T = np.arange(0, T_max, dt)
chocs = []
t = 0
while t < T_max:
    t += np.random.exponential(1/lambda_choc)
    if t < T_max:
        chi_sm = 2 * np.random.rand() - 1  # chiralité aléatoire
        deltaX = alpha_X * gamma * chi_sm
        chocs.append((t, deltaX))

# Intégration de X
X = np.zeros_like(T)
X[0] = 0.01
for i in range(1, len(T)):
    dt_cur = T[i] - T[i-1]
    X_cont = X[i-1] + dt_cur * (kappa - xi) * X[i-1]
    delta = 0
    for t_choc, dX in chocs:
        if abs(T[i] - t_choc) < dt_cur/2:
            delta += dX
    X[i] = X_cont + delta

plt.plot(T, X)
plt.xlabel('T (s_RE)')
```

```
plt.ylabel('Chiralité X')
plt.title('Chocs chiraux : évolution de X')
plt.grid(True)
plt.show()
```

8. Conclusion mathématique

Les chocs de sans-masse chiraux sont modélisés par des pics de Dirac dans l'équation de la chiralité, avec une amplitude proportionnelle au facteur de Lorentz γ et à la chiralité du sans-masse. Ces chocs dérivent naturellement de l'équation maîtresse unifiée par l'ajout d'un terme de transition W(U' → U) spécifique. Ils produisent un bruit chiral qui rend les bandes satellites asymétriques dans l'image temps-fréquence. Ce formalisme permet de simuler numériquement l'effet de ces chocs sur les éléments chimiques du TP_Rachid ELAÏDI.